

# L'antropico e l'entropico

*L'uomo tra necessità e libertà:  
alla ricerca del filo conduttore  
tra scienze ambientali e beni culturali*

a cura di  
Enrico Acquaro e Piermaria Luigi Rossi  
(1996)

ESTRATTO

Angelo Longo Editore  
Via P. Costa, 33 - 48100 Ravenna  
Tel. (0544) 217026 - Fax 217554

# L'ANTROPICO E L'ENTROPICO

*L'uomo tra necessità e libertà:  
alla ricerca del filo conduttore  
tra scienze ambientali e beni culturali*

a cura di  
Enrico Acquaro e Piermaria Luigi Rossi

LONGO EDITORE RAVENNA

ISBN 88-8063-069-5

© Copyright 1996 A. Longo Editore snc  
Via P. Costa, 33 - 48100 Ravenna  
Tel. (0544) 217026 - Fax 217554  
All rights reserved  
Printed in Italy

GIAN CARLO GRILLINI - FEDERICO LUCCHINI - PIERMARIA LUIGI ROSSI

CARATTERIZZAZIONE MINERALOGICA-PETROGRAFICA  
DI DUE SINGOLARI MALTE POZZOLANICHE  
NELL'AREA EMILIANO-ROMAGNOLA:  
IL PONTE DI MELDOLA (FO)  
ED IL CAMPANILE DEL DUOMO DI FERRARA

*Introduzione*

Nel corso dei lavori di restauro al Ponte di Meldola (Fo) ed al Campanile del Duomo di Ferrara si sono rinvenute malte con alto grado di coesione, nonostante il lungo tempo di contatto con l'acqua. In ambedue i casi tali malte sono presenti in porzioni limitate della costruzione (nella parte sommersa del Ponte e nei compluvi del Campanile) e la loro presenza in zone critiche indica la precisa volontà di costruire malte con le caratteristiche fisico-meccaniche delle malte pozzolaniche. Poiché nel territorio emiliano-romagnolo fino ad ora non sono state mai segnalate ed analizzate malte pozzolaniche in manufatti di interesse storico-artistico ed archeologico, il ritrovamento di questi reperti inusuali ha portato ad approfondirne la natura, attraverso indagini mineralogiche e chimiche, per valutarne sia l'origine che la provenienza.

*Definizione di malta*

La malta è una miscela di leganti inorganici (calce, gesso, cemento, ecc.) e aggregati prevalentemente fini (sabbia fluviale, sabbia vulcanica, cocci pesto, pietra macinata, ecc.), il tutto miscelato con acqua (eventualmente anche con componenti organici) in proporzioni tali da conferire alla miscela una opportuna lavorabilità (allo stato fresco) ed adeguate caratteristiche fisico-meccaniche (allo stato indurito).

*Definizione di pozzolana*

Le pozzolane, il cui nome deriva dalla località di Pozzuoli (vicino a Napoli), sono depositi piroclastici, chiamati genericamente tufi, dovuti ad attività vulcanica esplosiva; si tratta di depositi incoerenti composti da granuli di sostanza vetrosa più o meno vacuolare, associati a clasti lavici, a frammenti di cristalli e di rocce di diversa composizione, frammentate dalle fasi esplosive e lanciate nell'area circostante l'edificio vulcanico.

La pozzolana ha la proprietà, riconosciuta sin dall'antichità romana, di combinarsi con la calce, a freddo ed in presenza di acqua, per dare malte dette appunto idrauliche.

In tale situazione è fondamentale la presenza del vetro vulcanico per la disponibilità di silice ed allumina che passano a dare fasi cristalline idrate (allumosilicati idrati) che costituiranno il legante della struttura.

### *Il Ponte di Meldola (fig. 1)*

L'opera idraulica di maggior importanza è la chiusa per il canale dei mulini, le cui fondamenta poggiano sulla formazione dello Spungone (una calcarenite organogena di età medio pliocenica) che affiora in questo tratto del fiume.

Sulla chiusa bassa sorge il Ponte di S. Maria dell'Ulivo, probabilmente di origine romana, detto dei Veneziani in quanto restaurato dalla repubblica della Serenissima fra gli anni 1503-1509 (Prati 1988).

È costruito in blocchi di spungone nella parte inferiore e da laterizio nella parte alta.

Il ponte ebbe sempre gravi problemi di stabilità e subì diversi interventi di restauro nel corso dei secoli. L'ultimo di questi avvenne nel 1946-48 in cui il meldolese Mario Maldini poté verificare direttamente la struttura della chiusa e del ponte (Maldini 1955). Il Maldini sostiene l'ipotesi che la chiusa costituisca il bacino di captazione dell'acquedotto romano di Ravenna (costruito da Traiano nel II secolo d.c. e riattivato da Teodorico nel 502 (Prati 1988)) e che il ponte sia ad esso coevo (fig. 2).

Il disegno evidenzia imponenti fondamenta costituite da una palificazione in legno con riempimento in pietra. Il sistema realizzava un vaso della lunghezza di 100-150 metri.

Nel 1991 sono stati eseguiti 7 sondaggi geognostici da parte del Consorzio Acque per le province di Forlì e Ravenna, nel corso dei quali sono affiorate nella platea di fondazione e nella briglia della chiusa alta due particolari malte di allettamento della muratura superiore.

Attualmente sono in corso analisi mineralogiche e petrografiche di tutte le malte di allettamento della struttura muraria del ponte. Possiamo però fin d'ora affermare che le malte di allettamento nei vari livelli della muratura presentano una tradizionale composizione di calce aerea e sabbia fluviale addizionata con cocci pesto solo in alcuni livelli inferiori.

### *Il Campanile del Duomo di Ferrara (fig. 3)*

Iniziato nel 1412, Adolfo Venturi ne attribuisce il progetto definitivo (1441-42) al disegno di Leon Battista Alberti, il campanile è la prima fabbrica di linguaggio rinascimentale a Ferrara (Di Francesco et al. 1989).

La costruzione, protrattasi per quasi due secoli, vede avvicinarsi archi-

tetti e scalpellini prestigiosi ed è rimasta incompiuta alla cella campanaria.

È rivestito in pietra bianca e rosata (calcarei bianchi e rosa di Verona, pietra d'Istria e scaglia rossa Veneta) con minime parti di pietra grigia (calcare grigio di Noriglio) alternata nelle colonne centrali nei lati sud e nord.

Rappresenta il primo esempio di quell'uso della tricromia più volte riscontrata a Ferrara in elementi decorativi di particolare importanza architettonica.

Le malte di allettamento che legano le lastre del rivestimento lapideo sono le tradizionali malte costituite da calce aerea e sabbia fluviale addizionata con cocci pesto.

I numerosi restauri registrati dalle cronache sono legati ai problemi di distacco del paramento lapideo della muratura. Nel corso dei lavori di manutenzione e di restauro si cercava di evitare che le acque piovane penetrassero tra i muri di mattoni ed i «marmi» di rivestimento. Le cronache locali ricordano fin dal 1518 che, in seguito alle infiltrazioni, il muro di pietre cotte già... «comenza a marzare le chalzine» (Chiappini 1979).

Nel lato nord, all'altezza del II e III ordine, in posizione angolare vi erano cospicui tamponamenti costituiti da una malta durissima, difficile da rimuovere, con evidenti clasti rossastri e diversa da quelle della muratura (risulterà anch'essa una malta a pozzolana).

I restauratori dei secoli scorsi cercavano, probabilmente, di creare dei compluvi ben cementati e «idraulici» onde drenare le acque meteoriche ed evitare così l'infiltrazione nella struttura muraria.

#### *Metodologie analitiche*

Lo studio mineralogico-chimico dei campioni di malta è stato eseguito con le procedure e le tecniche seguenti:

- Analisi mineralogica-petrografica su sezioni sottili al microscopio polarizzatore dei campioni «tal quale».

- Esame allo stereomicroscopio del campione «tal quale» per un'analisi qualitativa dell'aggregato e del legante, identificazione di componenti accessori, grado di cementazione, ecc.

- Isolamento dell'aggregato dal legante per disaggregazione in acqua deionizzata ed agli ultrasuoni, per un'analisi granulometrica, morfologica e mineralogica allo stereomicroscopio.

- Arricchimento della frazione vulcanica al separatore magnetico isodinamico Frantz e a mano con l'ausilio dello stereomicroscopio.

- Analisi mineralogica per diffrattometria ai raggi X su frammenti macinati del campione «tal quale» e del solo aggregato contenente i clasti vulcanici.

- Analisi chimica per spettrometria in fluorescenza di raggi X dell'aggregato contenente i clasti vulcanici.

- Analisi di fasi minerali mediante microscopio elettronico a scansione (SEM) unito a sistema di microanalisi EDS.

### *Risultati*

I dati emersi dai vari tipi di analisi cui sono stati sottoposti i campioni hanno indicato una composizione simile sia per le malte del ponte di Meldola sia per il campanile di Ferrara.

Elementi composizionali rilevanti e caratterizzanti sono quelli di provenienza tipicamente vulcanica quali leucite e clinopirosseno.

Il clinopirosseno si presenta ben conservato e con i caratteri ottici (fig. 4) e diffrattometrici di un'augite (fig. 9).

La leucite è per lo più trasformata in analcime (una zeolite di classica derivazione da trasformazione di leucite), ma in alcuni casi mantiene ancora, oltre alla forma, la sua composizione tipica.

In diversi cristalli di leucite si è osservata la presenza di inclusioni vetrose distribuite sul bordo periferico della sezione secondo la simmetria del sistema cubico (quello della leucite) (fig. 5).

Queste inclusioni rappresentano aree di forte instabilità anche nei cristalli di leucite indicando ampie trasformazioni dei cristalli nella corona contenente le inclusioni (fig. 6). Tale fenomeno porta alla presenza di tipiche sezioni quasi circolari con aree di trasformazione separate da settori diametrali ancora a composizione leucitica (fig. 7), come confermato da analisi al SEM. Vengono così a configurarsi forme simili a ruote (fig. 8) che hanno fatto ipotizzare la presenza di resti di organismi, con grandi problemi di interpretazione genetica per il materiale vulcanico addizionato alla malta.

Al fine di risolvere i problemi insorti è stata presa in esame, per confronto, una tipica malta di epoca romana, proveniente dall'area archeologica del Palatino in Roma.

Anche in questo campione, sottoposto ad analisi ottica in sezione sottile, è emersa la presenza di clasti lavici con fenocristalli di leucite e augite ed una pasta di fondo costituita da vetro fortemente ossidato ed alterato. I cristalli di leucite sono quasi sempre analcimizzati e sono spesso evidenti le forme «a ruota».

Le strette somiglianze dei tre campioni sono state confermate da analisi al diffrattometro (fig. 9) che hanno evidenziato la presenza di leucite, clinopirosseno ed analcime e inoltre quella di biotite.

Anche dal punto di vista del chimismo le malte esaminate sono risultate molto simili (tab. 1), pur con oscillazioni (es.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ) dovute al diverso contenuto in carbonato di calcio nel materiale separato. Degni di nota sono i tenori elevati in elementi incompatibili (Zr, La, Ce, Th), tipici delle rocce leucitiche, mentre la scarsità di K<sub>2</sub>O e di Rb, anomala in queste rocce, va attribuita ad impoverimento per mobilitazione in seguito all'alterazione della leucite.

Da rilevare infine nel campione del campanile di Ferrara l'elevato contenuto di piombo.

Tab. 1 - Analisi chimiche degli arricchiti in clasti vulcanici dalle malte in studio.

	Ferrara	Meldola	Roma
% in peso			
SiO <sub>2</sub>	32.89	39.72	38.02
TiO <sub>2</sub>	0.71	0.79	0.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.82	12.73	14.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot.	8.76	8.82	8.28
MnO	0.15	0.17	0.16
MgO	2.88	3.94	3.52
CaO	23.56	17.09	16.25
Na <sub>2</sub> O	1.67	2.52	1.29
K <sub>2</sub> O	1.39	0.76	2.46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.42	0.52	0.46
CO <sub>2</sub>	9.71	6.01	5.92
H <sub>2</sub> O	7.04	6.93	8.29
ppm			
Rb	233	347	311
Sr	1040	1107	956
Y	34	30	34
Zr	339	347	375
Nb	19	19	19
Ba	1762	2811	2575
La	202	246	223
Ce	435	440	429
Th	92	75	79
Pb	1500	100	83
Ni	36	35	32
Co	26	30	29
Cr	30	26	26
V	179	195	180

### Discussione

Il rinvenimento di leucite in malte dell'area emiliano-romagnola è un elemento di importanza rilevante, in quanto tale fase mineralogica è caratteristica, in Italia, soprattutto del vulcanesimo quaternario Laziale e Campano (fig. 10).

Si tratta di un vulcanesimo associabile a un limite subduittivo e quindi a magmi di affinità calcalcalina. Tale affinità è coerente con le caratteristiche geochemiche delle malte e in particolare con la distribuzione degli elementi incompatibili normalizzati alla composizione del mantello primordiale (Wood 1979).

I campioni in esame (fig. 11), infatti presentano il tipico frazionamento da Rb a Ti con impoverimento in Nb rispetto a Th e La, caratteristico dei magmi



legati a subduzione. Simili distribuzioni si ritrovano nei prodotti leucitici dell'Italia centro-meridionale (fig. 12) mentre si discostano in valori e forma quelle dei magmi alcalini cui ci si dovrebbe riferire per prodotti dei Colli Euganei o dei Monti Lessini, zone vulcaniche più vicine all'area forlivese e ferrarese.

Le vulcaniti leucitiche sono associate, nelle province vulcaniche dell'Italia centro-meridionale, a più abbondanti depositi calcalcalini che non contengono tale fase mineralogica.

L'utilizzo di materiale piroclastico con leucite potrebbe essere, dunque, non casuale. L'instabilità di tale minerale, incrementata dalla presenza di inclusioni vetrose, porta infatti alla notevole mobilitazione di potassio e sodio con formazione di soluzioni alcaline nella malta. In ambiente alcalino poi si produce una notevole disponibilità della silice da parte del vetro vulcanico, condizione necessaria per dare potere idraulico al sistema legante.

Per quanto riguarda infine il tenore anomalo di piombo nel campione proveniente dal campanile del Duomo di Ferrara, va esclusa una origine dovuta ad inquinamento atmosferico, non risultando arricchiti altri elementi tipici di questa situazione.

Con ogni probabilità questo Pb potrebbe provenire dalle staffe di ferro, fissate con spessori di piombo, che legano i conci lapidei del paramento murario del campanile.

### *Conclusioni*

I dati e le considerazioni esposte portano inequivocabilmente a definire pozzolaniche ed idrauliche le due malte esaminate e ad ipotizzare non casuale l'utilizzo di materiale vulcanico a leucite per tali malte e per malte di sicura epoca romana.

Per quanto concerne il periodo di utilizzo delle malte nei due edifici esaminati si affacciano due ipotesi: i materiali pozzolanici impiegati potrebbero essere stati utilizzati da maestranze romane/papaline che operarono in terra di Romagna negli anni in cui queste terre facevano parte dello Stato Pontificio.

Questo sicuramente vale per il campanile del Duomo di Ferrara (malte di restauro).

Per quanto riguarda il Ponte di Meldola resta proponibile anche l'ipotesi che si possa trattare di una malta originaria romana impiegata durante la fase costruttiva del ponte.

La soluzione potrà arrivare dagli archeologi con i quali è in atto una collaborazione su tali problematiche archeometriche.

*Ringraziamenti*

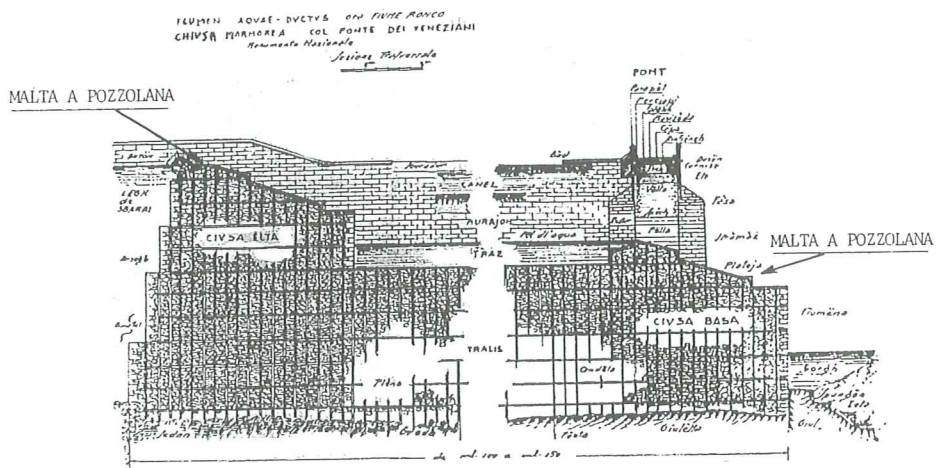
Per i campioni e per le preziose informazioni siamo vivamente grati a: Dott.ssa Luciana Prati e Ing. Federico Flamigni, Forlì; Arch. Carla Di Francesco, Ferrara; restauratore Fabio Bevilacqua, Bologna.

*Bibliografia*

- Chiappini A. (1979) *Il Campanile della Cattedrale: cronistoria da una serie di note inedite*, in *La Cattedrale di Ferrara*, Atti del Convegno, Ferrara, Accademia delle Scienze, pp. 430-467.
- Di Francesco C., Grillini G.C., Pinna D., Tucci A. (1989) *Il restauro come occasione di studio e documentazione nel caso del campanile del Duomo di Ferrara*, in *Il cantiere della conoscenza - il cantiere del restauro*, Atti del Convegno, Padova, Progetto Editore, pp. 251-264.
- Maldini M. (1955) *La chiusa marmorea, da quasi diciotto secoli valida difesa dell'abitato di Meldola dalle insidie del fiume Ronco, che alla grande epoca di Roma denominavasi fiume degli Acquedotti*, «La piê», pp. 82-84.
- Peccerillo A., Poli G., Tolomeo L. (1984) *Genesis, evolution and tectonic significance of K-rich volcanics from the Alban Hills (Roman comagmatic region) as inferred from trace element geochemistry*, «Contrib. Mineral. Petrol.» 86, pp. 230-240.
- Poli G., Frey F.A., Ferrara G. (1984) *Geochemical characteristics of the south tuscany (Italy) volcanic province: constraints on lava petrogenesis*, «Chem. Geol.» 43, pp. 203-221.
- Prati L. (1988) *Flumen Aquaeductus - Nuove scoperte archeologiche dagli scavi per l'acquedotto della Romagna*, Bologna, Nuova Alfa Editoriale, pp. 27-44.
- Rossi Manaresi R., Grillini G.C., Tucci A. (1989) *Finitura del cotto e della pietra con particolare riferimento ad esempi ferraresi*, in *Malte, intonaco e colore per la conservazione dei paramenti esterni*, Atti del Convegno Nazionale, Ferrara, inserto de «La pianura», 1/1989, Camera di Commercio di Ferrara, pp. 35-43.
- Wood D.A. (1979) *A variably veined suboceanic upper mantle. Genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence*, «Geology» 7, pp. 499-503.



1 - Il Ponte romano di Meldola detto dei Veneziani.

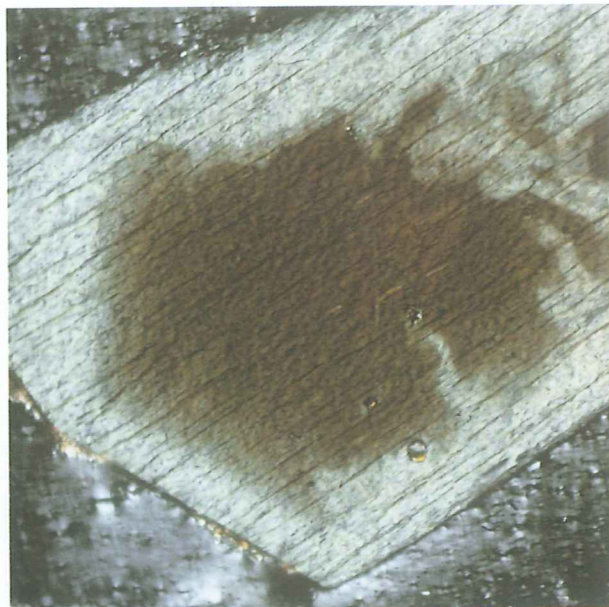


2 - Disegno ricostruito della chiusa di Meldola (Maldini 1955) con ubicazione delle malte a pozzolana.

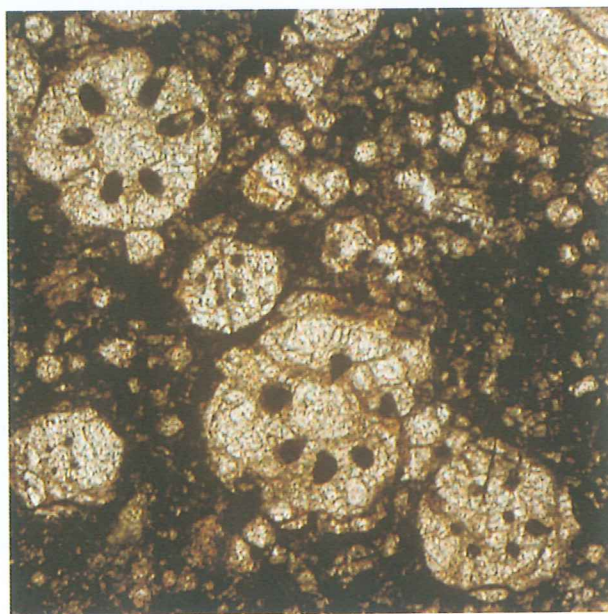


3 - Il Campanile del Duomo di Ferrara.

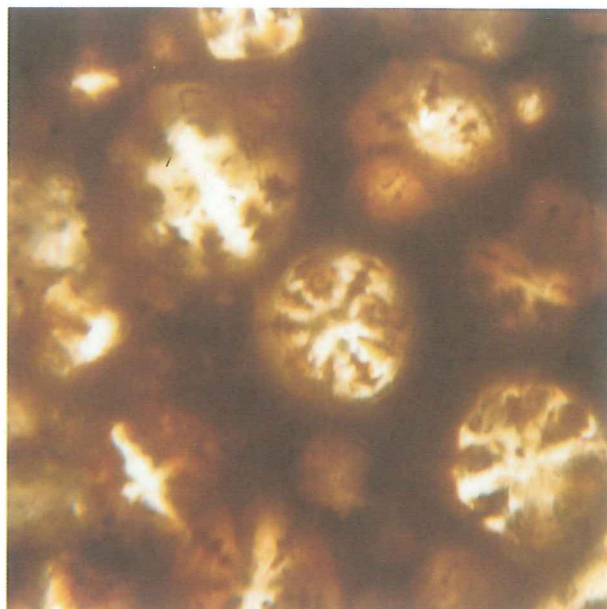




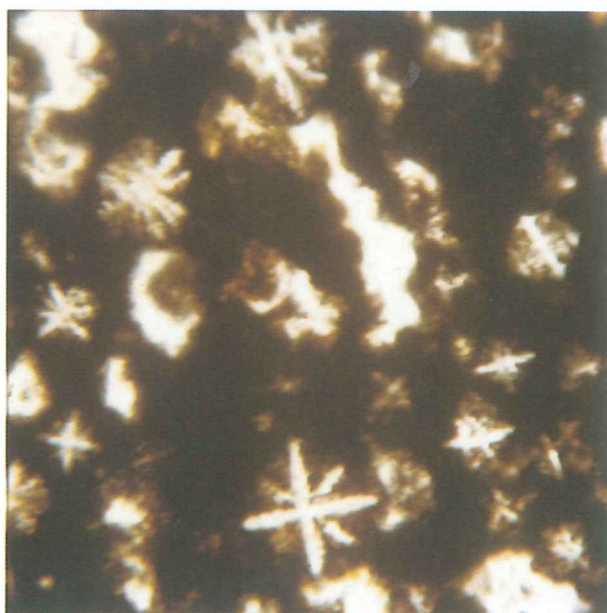
4 - Clinopirosseno augitico in clasto lavico della malta di Meldola (nicols incrociati - 25X).



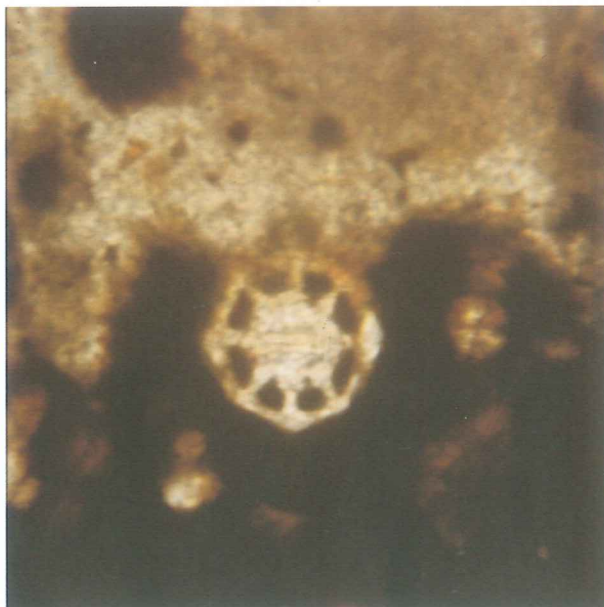
5 - Cristalli di leucite con inclusioni vetrose in un clasto lavico della malta del Campanile di Ferrara (solo polarizzatore - 75X).



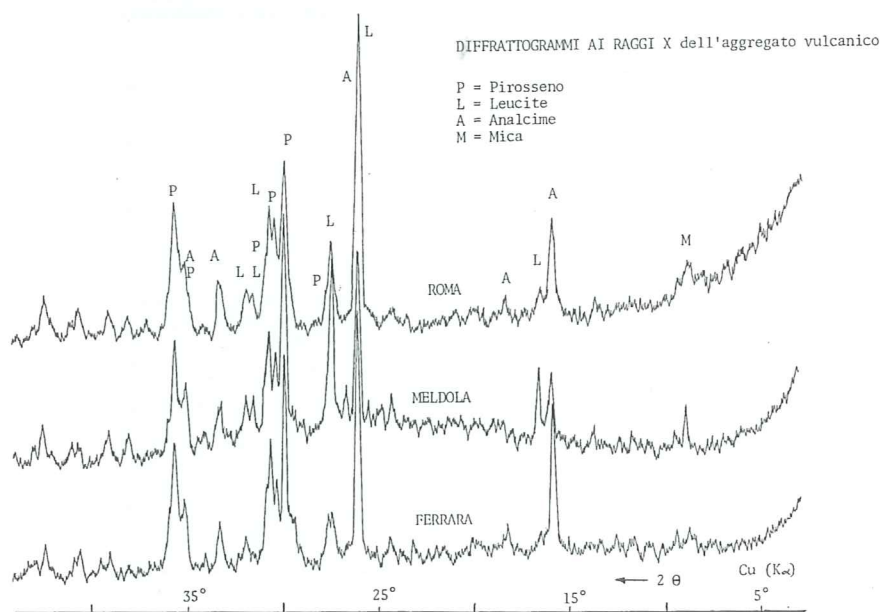
6 - Cristalli di leucite con inclusioni vetrose destabilizzanti la struttura cristallina in un clasto lavico della malta di Meldola (solo polarizzatore - 75X).



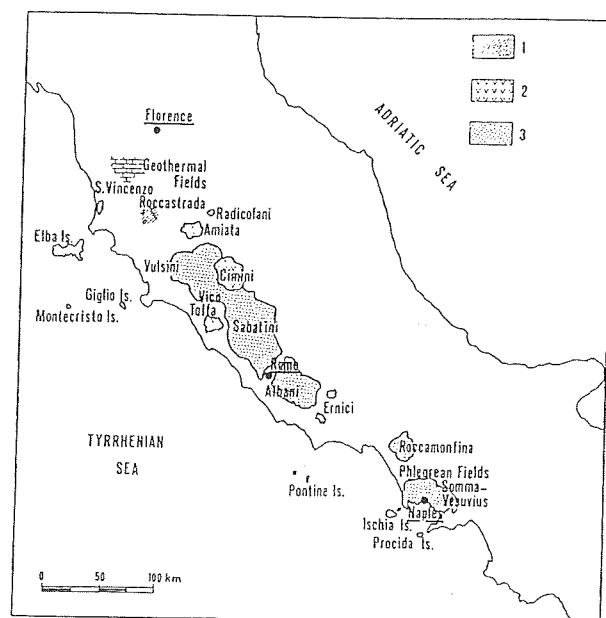
7 - Cristalli di leucite ampiamente trasformati con la conservazione di settori diametrali secondo la simmetria cubica (solo polarizzatore - 175X).



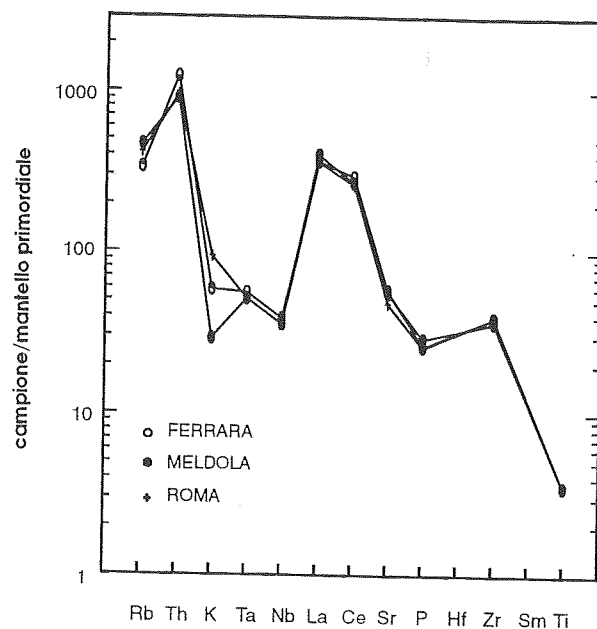
8 - Sezione di un cristallo di leucite con inclusioni vetrose secondo la simmetria cubica che sviluppa una forma «a ruota» (solo polarizzatore - 175X).



9 - Analisi diffrattometriche ai raggi X delle malte in studio (Philips PW 1710).

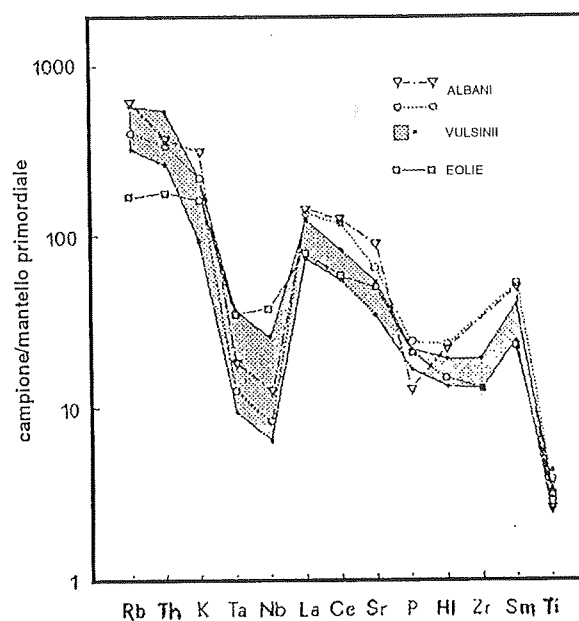
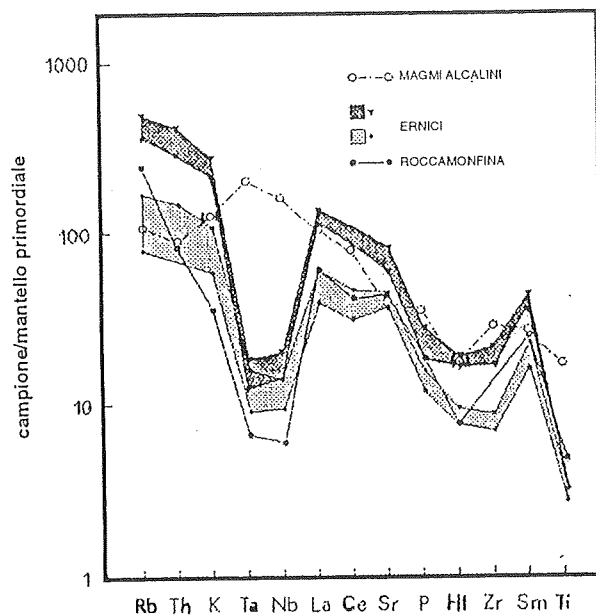


10 - Carta del magmatismo potassico nell'Italia centro-meridionale (da Poli et al. 1984).  
1) Area della Toscana centrale. 2) Area della Toscana meridionale e Lazio settentrionale. 3) Provincia comagmatica romana.



11 - Distribuzione degli elementi incompatibili normalizzati al Mantello primordiale (Wood, 1979) relativa ai campioni in studio.





12 - Distribuzione degli elementi incompatibili normalizzati al Mantello primordiale (Wood, 1979) nelle rocce potassiche dell'Italia centro-meridionale e, per confronto, in rocce alcalino-sodiche (diagramma da Peccerillo et al., 1984, modificato).